

Solução IOT para verificação de consumo médio de energia elétrica em instalações: um estudo de caso.

Lucas Vinícius Ferreira Rodrigues ^[1], Dra. Maria Izabel da Silva Guerra ^[2] Me. João Frederico Souza De Paula ^[3]

^[1] Universidade Federal Rural do Semiárido; lucasvinicius.ctec@gmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semiárido; izabel.guerra@ufersa.edu.br

^[3] Universidade Estadual de Campinas; joaofredericosp@gmail.com

Resumo: A Internet das Coisas (IoT) tem se mostrado uma solução inovadora para o gerenciamento eficiente de recursos, como a energia elétrica. Este estudo analisou o consumo de energia de uma instalação comercial implementando um medidor IoT de energia (modelo SM 3W Lite), para monitoramento e coleta de dados em tempo real. A metodologia incluiu a instalação do equipamento de medição integrado a plataforma em nuvem TagoIO. A metodologia foi testada e validada a partir da comparação dos resultados de consumo obtidos com os valores de consumo estimado após levantamento de carga da instalação. O processo de monitoramento identificou padrões distintos de consumo entre dias de semana e finais de semana, com um consumo médio diário de 5,09 kWh. A análise revelou que certas cargas, como refletores de iluminação, representaram até 52,23% do consumo total durante os dias operacionais. A aplicação de bibliotecas Python foi essencial para visualização e interpretação dos dados, destacando a IoT como ferramenta para o gerenciamento do consumo de energia elétrica e uso sustentável dos recursos.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT); SM 3W Lite; Consumo de Energia; Python; TagoIO.

Abstract: The Internet of Things (IoT) has proven to be an innovative solution for the efficient management of resources, such as electrical energy. This study analyzed the energy consumption of a commercial facility by implementing an IoT energy meter (model SM 3W Lite) for real-time monitoring and data collection. The methodology included installing the metering equipment integrated with the TagoIO cloud platform. The methodology was tested and validated by comparing the consumption results obtained with the estimated consumption values after a load survey of the installation. The monitoring process identified distinct consumption patterns between weekdays and weekends, with an average daily consumption of 5.09 kWh. The analysis revealed that certain loads, such as lighting reflectors, accounted for up to 52.23% of total consumption during operational days. The application of Python libraries was essential for data visualization and interpretation, highlighting IoT as a tool for managing electrical energy consumption and sustainable resource use.

Key-words: Internet of Things (IoT); SM 3W Lite; Energy consumption; Python; TagoIO;

1. INTRODUÇÃO

Em 2023, o consumo final de eletricidade no Brasil cresceu 5,2%. Entre os setores que mais contribuíram para este aumento, o setor residencial se destacou com um crescimento de 14,1 TWh, representando um aumento de 9,1% [1]. A crescente demanda por eficiência energética em instalações residenciais e comerciais impulsiona a necessidade de soluções inovadoras que possam monitorar e gerenciar o consumo de energia de forma precisa e em tempo real.

Neste contexto, as tecnologias da Internet das Coisas (IoT, do inglês, *Internet of Things*) surgem como alternativas viáveis, oferecendo um panorama detalhado do consumo de energia elétrica e possibilitando a adoção de estratégias de otimização energética mais eficazes [2].

Para [3], a IoT é a rede de objetos físicos (dispositivos, instrumentos, veículos, edifícios e outros itens embutidos com circuitos eletrônicos), softwares, sensores e conectividade à rede que permite a coleta, manipulação e transmissão de dados. A IoT permite também que objetos sejam detectados e controlados remotamente em toda a infraestrutura existente em uma rede, criando oportunidades para uma integração mais direta do mundo físico em sistemas embarcados, resultando em maior eficiência e precisão.

De acordo com [4], o número de dispositivos IoT aumenta a cada ano, com estimativas apontando para 22,2 bilhões em 2025. O principal aspecto que influencia o crescimento dessas tecnologias é o processo de miniaturização dos seus componentes e as possibilidades de interconexão entre eles, contribuindo para um menor custo, menor consumo de energia elétrica e mais dinamismo em sua implementação.

Ademais, quando as tecnologias IoT possuem a conectividade oferecida pelas plataformas Cloud, elas ainda podem oferecer ferramentas para detecção, transmissão e armazenamento de dados em tempo real, desempenhando um papel importante na comunicação eficiente, rápido e segura [5].

Quando se trata do monitoramento do consumo de energia elétrica em residências, é importante destacar o uso de Medidores Inteligentes (*Smart Meters*) [6]. Esses dispositivos ajudam a conscientizar os usuários a reduzir o seu consumo, contribuindo para a sustentabilidade econômica de muitas residências.

Um relatório sobre o programa de implementação de medidores inteligentes no Reino Unido, por exemplo, revelou que, entre os clientes da British Gas, muitos adotaram medidas para diminuir o consumo de energia após a instalação de um medidor inteligente [7].

A aceitação dos clientes residenciais ao uso desse tipo de equipamento se dá, especialmente, pela característica não intrusiva dos seus sensores. Eles usam a lógica *plug and play*, ou seja, esses dispositivos não necessitam de ferramentas especializadas ou alto conhecimento em eletricidade na hora da instalação, facilitando o uso e a aderência por parte do usuário comum [8].

Diante do exposto, este artigo apresenta um estudo de caso, em que dispositivos IoT foram utilizados para monitorar o consumo de energia do Anexo de uma unidade consumidora, afim de solucionar um problema de negócio de um dos clientes de uma empresa do setor de engenharia elétrica da cidade de Mossoró-RN.

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, o trabalho está estruturado da seguinte maneira: na Seção 2 será abordado os Materiais e Métodos, na Seção 3 serão descritos os resultados do estudo de caso, por fim, na Seção 4, as principais conclusões da pesquisa serão apresentadas, bem como propostas de futuros trabalhos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção apresenta o problema de negócio vivenciado por uma empresa de engenharia elétrica da cidade de Mossoró acerca de uma unidade consumidora específica. Posteriormente, será mostrada a metodologia utilizada para sanar o impasse existente entre os consumidores dessa unidade. Essa metodologia baseia-se no monitoramento e análise do consumo de energia elétrica utilizando tecnologias e ferramentas IoT.

O problema ocorre em um imóvel dividido em dois blocos (Galpão principal e Anexo), mas com um único medidor de energia no local. O Anexo é alimentado derivando as fases do Galpão principal, ou seja, sem medição independente¹. Dessa maneira, o locador mensalmente estipula um valor de consumo para o locatário do Anexo, que o considera injusto, mas não possui ferramentas que possam fundamentar seus argumentos.

A partir do problema exposto, o estudo busca soluções IoT que podem ser aplicadas para medir e analisar o consumo de energia, identificando padrões e potenciais economias.

O dispositivo de medição utilizado foi um medidor de energia trifásico bidirecional SM-3W Lite que utiliza sensores de corrente não invasivos, característico de aplicações IoT. Quando esse medidor de energia é conectado à plataforma TagoIO Cloud, é ele permite a coleta contínua de dados e proporciona *insights* detalhados sobre os padrões de consumo de energia elétrica das instalações.

A Figura 1 ilustra de forma sucinta as etapas e processos utilizados para o desenvolvimento desse artigo.

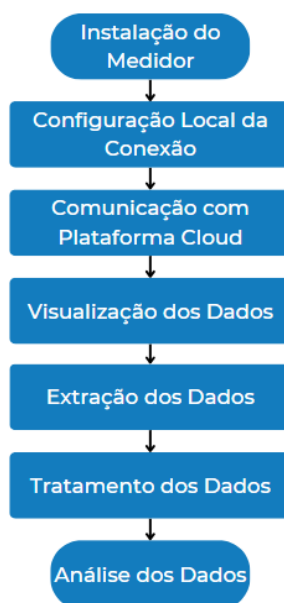


Figura 1: Fluxograma de Desenvolvimento (Autoria Própria).

Cada etapa será abordada com maior detalhe nas subseções 2.1 a 2.5.

¹ Sabe-se que o correto a se fazer seria regularizar o imóvel, ou seja, dividi-lo em dois e solicitar a distribuidora de energia elétrica o fornecimento de forma independente para ambas as unidades. Entretanto, essa possibilidade não é discutível para o locador por questões particulares.

2.1 FLUXOGRAMA E PANORAMA GERAL DO PROJETO

Uma visão geral do projeto proposto ao cliente, suas ferramentas e funcionalidades estão ilustrados no fluxograma da Figura 2.

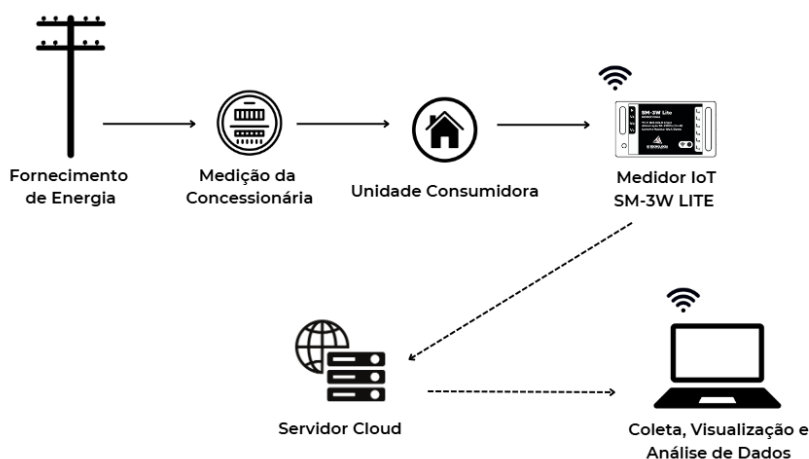


Figura 2: Fluxograma do Processo. (Autoria Própria).

Observando a Figura 2, após o fornecimento de energia proveniente da concessionária local tem-se o medidor de energia elétrica, que é responsável pela contabilização do consumo em kWh de toda e qualquer unidade consumidora [2]. No domínio da unidade consumidora é instalado o medidor de energia IoT SM-3W LITE, que é responsável por aferir os parâmetros elétricos da instalação, bem como armazenar e transmitir todos os dados que poderão ser coletados e, posteriormente, analisados para gerar *insights* sobre a instalação.

No estudo de caso do presente artigo, o SM-3W LITE (detalhado na subseção 2.2) desempenha a mesma função do medidor da concessionária de energia, porém direcionado apenas para o Anexo. Isso ocorre, pois o Anexo não possui medição direta do seu consumo. Para o monitoramento e coleta dos dados foi utilizada a plataforma cloud Tago IO, que dispõe de serviços gratuitos para aquisição e visualização de dados, além de armazenamento e exportação desses dados.

Os resultados e *insights* foram gerados a partir do tratamento e análise das variáveis por meio de algoritmos desenvolvidos em linguagem *Python*. Também foi usado o suporte das bibliotecas de tratamento e visualização de dados, a saber: *Pandas*® e *Matplotlib*®, respectivamente.

2.2 MEDIDOR DE ENERGIA IOT SM-3W LITE

O medidor de energia trifásico bidirecional SM-3W Lite, mostrado na Figura 3, é um dispositivo avançado, que foi projetado para monitorar o consumo e a geração de energia elétrica em ambientes comerciais e residenciais. Este equipamento destaca-se pelo seu baixo custo e pela facilidade de instalação e operação, pois não precisam desconectar fios ou cabos para os modelos bipartidos. É válido ressaltar que a desconexão de fios ou cabos são necessários apenas para os modelos janela [9].



Figura 3: Medidor de Energia Trifásico Bidirecional SM-3W Lite: (a) Tipo Janela; (b) Tipo Bipartido.
(IE Tecnologia, 2024)

O medidor da Figura 3 permite a visualização e medição em tempo real de diversas métricas, incluindo gráficos de consumo (kWh), geração (kWh), consumo em reais (R\$), potência ativa (W), tensão (V) e corrente (A). A taxa de amostragem de 14 kHz assegura precisão na medição [9].

Diante disso, o medidor de energia trifásico bidirecional SM-3W Lite destaca-se como uma solução robusta e acessível para monitorar e gerenciar o consumo de eletricidade em diversos ambientes. Normalmente, ele torna-se uma opção para soluções que precisam de eficiência e praticidade no monitoramento de energia devido a sua precisão, facilidade de uso e integração com plataformas de terceiros sem a necessidade de software específico.

A interface de acesso é por meio de qualquer navegador de internet, dispensando a necessidade de software específico para uma aplicação simples. Porém, utilizando protocolos de comunicação GET/POST e MQTT, o SM-3W Lite integra-se facilmente com softwares terceiros e ainda possibilitam melhor aproveitamento e dinamismo de suas funcionalidades [9].

O medidor possui uma memória interna que armazena dados das grandezas elétricas em arquivos de texto (.txt). A configuração e a visualização dos dados são realizadas através de uma interface *web* intuitiva, que requer conexão à internet com sinal superior a 60% para garantir o funcionamento contínuo e a reconfiguração automática após quedas de energia ou de conexão [9].

O medidor SM-3W Lite pode ser instalado em diferentes modos, dependendo da necessidade de medição de consumo e geração de energia, como por exemplo: Modo Bidirecional, quando ele é instalado na entrada da rede da concessionária, e mede tanto o consumo de energia da concessionária, quanto o excesso de energia fotovoltaica injetada na rede; o Modo Geração, quando é instalado na saída do inversor fotovoltaico e mede a geração de energia do sistema fotovoltaico, e o Modo Consumo, quando é instalado antes da carga (aparelhos e dispositivos que consomem energia), mede o consumo total de energia das cargas conectadas [9].

Como o objetivo do problema descrito nesse artigo diz respeito a avaliação do consumo de energia elétrica de um local específico, o medidor de energia foi instalado no Modo Consumo e utilizou o esquema de ligação mostrado na Figura 4. A Figura 5 mostra a instalação do medidor no quadro geral de distribuição do cliente.

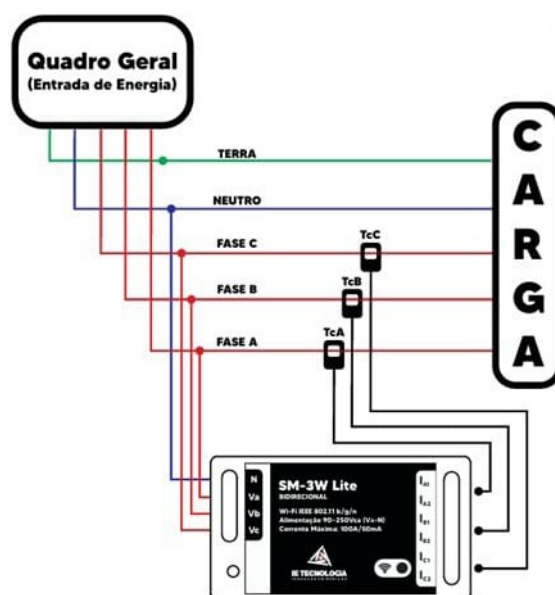


Figura 4: Esquema de Ligação do Medidor Trifásico à 4 fios instalado em modo consumo (IE Tecnologia, 2024).

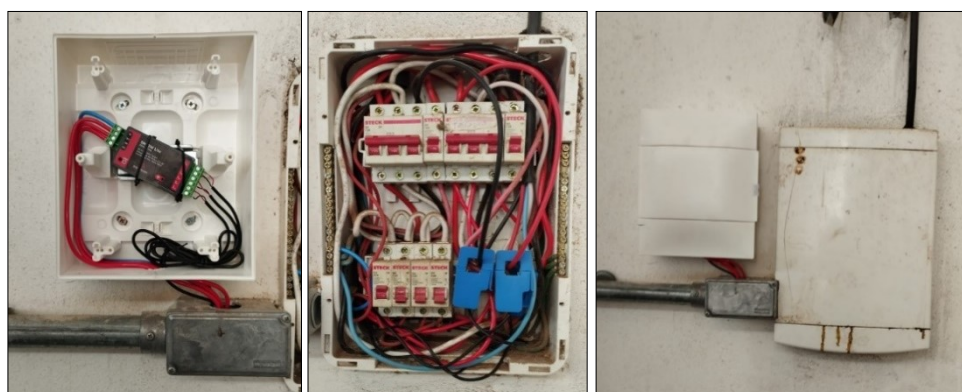


Figura 5: Medidor Trifásico instalado em modo consumo (Autoria Própria).

2.3 PLATAFORMA TAGOIO: MONITORAMENTO EM TEMPO REAL

TagoIO é uma plataforma completa de IoT que permite a coleta, visualização, análise e integração de dados de dispositivos conectados. Oferecendo uma infraestrutura baseada na nuvem. A TagoIO facilita a criação de soluções de IoT personalizadas e escaláveis para diversas aplicações industriais e comerciais [10].

A partir do protocolo de comunicação HTTP (do inglês, *Hypertext Transfer Protocol*), disponível no software do medidor SM-3W Lite, foi possível a conexão entre o medidor e a plataforma. Assim sendo, viabilizando a criação de *dashboards* para monitoramento em tempo real das principais variáveis do processo, como consumo, tensão e corrente da instalação elétrica, mostrados na Figura 6.

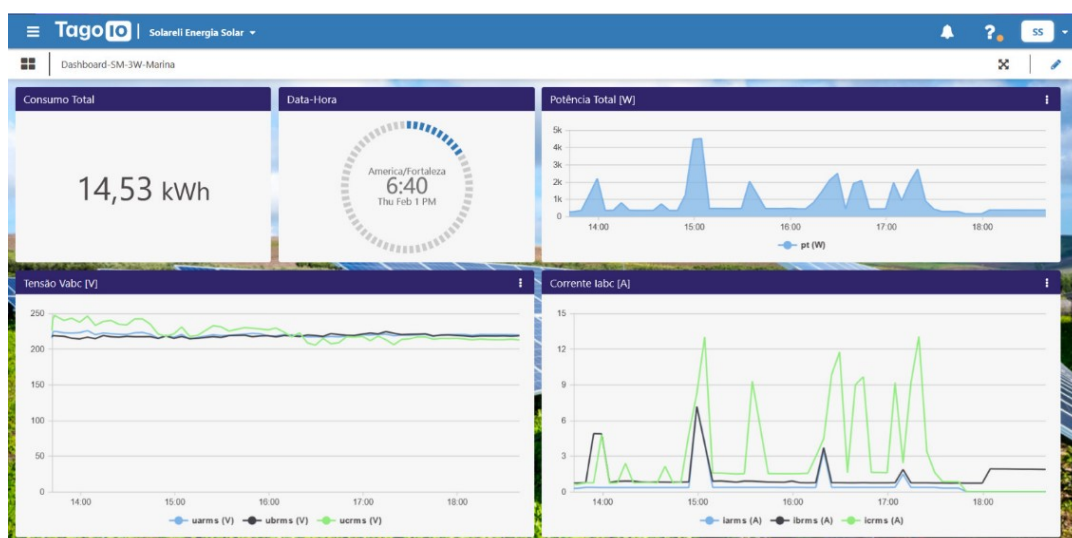


Figura 6: Dashboard de monitoramento remoto em tempo real (Autoria Própria).

A utilização de plataformas Cloud IoT possibilita que soluções mais acessíveis sejam desenvolvidas e implementadas, integrando a robustez de hardwares de alta precisão com a praticidade e agilidade das análises e visualizações dos dados produzidos por esses equipamentos. Para configuração e conexão entre a plataforma e o dispositivo foi utilizado a instrução disponibilizada no site do fabricante [9].

2.4 FERRAMENTAS DE ANÁLISES DE DADOS

No contexto de análise e ciência de dados, a linguagem de programação Python tem se consolidado como uma ferramenta essencial devido à sua versatilidade, simplicidade e robustez. Este artigo elucida como Python, em conjunto com as bibliotecas Pandas® e Matplotlib®, foi utilizado para realizar as análises necessárias no presente artigo, abrangendo processos de ETL (do inglês, *Extract, Transform, Load*) e EDA (do inglês, *Exploratory Data Analysis*). Diversos estudos destacam a eficiência dessas ferramentas na análise de dados, comprovando sua aplicabilidade e eficácia [11].

A biblioteca Pandas® é fundamental para a manipulação e análise de dados em Python. Ela fornece estruturas de dados rápidas, flexíveis e expressivas, permitindo trabalhar de maneira eficiente com dados tabulares. Pandas® facilita a leitura de diversos formatos de dados, como CSV, Excel, SQL e JSON, e oferece métodos poderosos para limpeza, transformação e agregação de dados [11].

Matplotlib® é uma biblioteca de visualização de dados em Python que gera gráficos 2D de alta qualidade. É amplamente utilizada para criar visualizações estáticas, animadas e interativas, tornando-a ideal para a apresentação de resultados e *insights* derivados da análise de dados [11].

O processo de ETL é utilizado para a preparação de dados antes da análise [12]. Ele consiste nas macros etapas ilustradas na Figura 7.

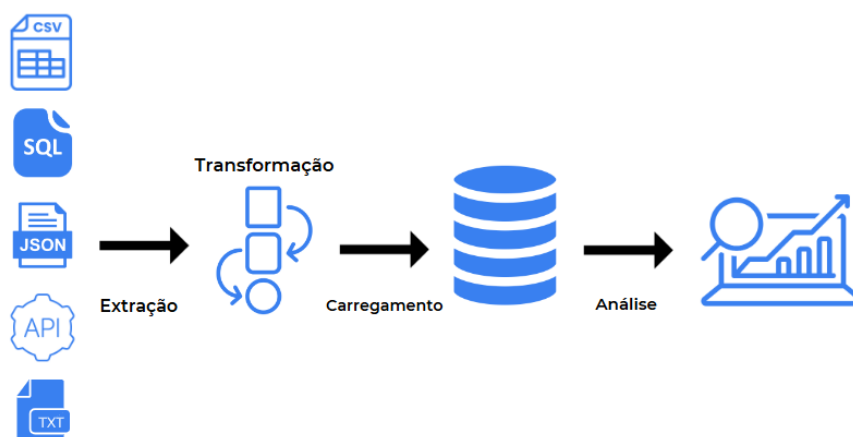


Figura 7: Processo ETL (Autoria Própria).

Observando a Figura 7, a etapa de extração consiste na coleta dos dados a partir de diversas fontes, como bancos de dados, arquivos de texto, APIs, entre outros. A etapa posterior é a transformação. Nele, os dados extraídos são limpos e transformados para adequação ao formato necessário para análise, o que inclui tratamento de valores ausentes, conversão de tipos de dados, normalização e agregação. Em seguida, a etapa de carregamento, como o próprio nome sugere, fica responsável por carregar os dados transformados em um sistema de armazenamento ou banco de dados para posterior análise [12].

A EDA é uma etapa fundamental na ciência de dados, pois eles podem ser explorados para descobrir padrões, detectar anomalias, testar hipóteses e verificar pressupostos [13]. As técnicas de EDA incluem:

- **Resumo Estatístico:** Utilização de métodos como *describe()* do Pandas® para obter uma visão geral dos dados [13].
- **Visualizações:** Criação de gráficos utilizando Matplotlib® para visualizar distribuições, tendências e relações entre variáveis. Gráficos comuns incluem histogramas, *scatter plots*, *box plots* e *heatmaps* [13].

A combinação de Pandas® e Matplotlib® permite a realização de ETL e EDA de forma interativa e visual, proporcionando resultados que orientam a análise subsequente.

A Figura 8 traz para a realidade do projeto em estudo a interconexão com o processo de EDA e ETL.

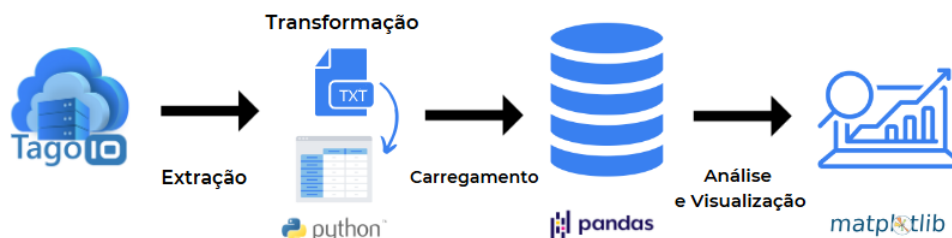


Figura 8: Processo EDA dentro das macros etapas do processo ETL (Autoria Própria).

2.5 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE DADOS

Para realizar a análise dos dados e posteriormente realizar o estudo dos resultados, é desejável possuir um referencial que norteie as futuras conclusões, sendo assim, a metodologia de análise e aferição dos dados condiz com a portaria N° 505, de 26 de novembro de 2001 da ANEEL [14]:

Art. 8º § 7º As tensões de leitura serão obtidas utilizando equipamentos de medição que atendam aos requisitos mínimos e critérios estabelecidos nos arts. 14 e 15 desta Resolução, **com período mínimo de observação de 168 (cento e sessenta e oito) horas.**

Art. 15. O equipamento de medição deverá permitir o cálculo dos valores eficazes de tensão **utilizando intervalos de medição de 10 (dez) minutos.**

Os parâmetros elétricos, tanto de consumo como de tensões e correntes, foram avaliados entre os dias 01/02/2024 e 22/02/2024 ligado ininterruptamente. O período de medição total de 22 dias é maior que o período mínimo estipulado pela ANEEL portanto dentro das conformidades. Além disso, os intervalos de transmissão dos dados podem ser configurados no próprio acesso ao medidor (indicado em segundos), sendo possível a parametrização em 10 minutos conforme resolução da ANEEL.

Após determinar o intervalo de medição, o presente trabalho realizou um levantamento de cargas afim de estimar o consumo do anexo em estudo, detalhado no item 2.5.1. Além disso, as etapas que envolveram o processo de coleta, tratamento e análise estatística dos dados estão descritos no item 2.5.2.

2.5.1 CONSUMO ESTIMADO

Sabendo que os medidores de energia são wattímetros que medem a potência elétrica em watts (W), então a energia dissipada ou consumida ao longo do tempo nas unidades consumidoras é expressa em quilowatts horas (kWh) [15].

Portanto, o consumo da unidade em estudo foi estimado através do levantamento de carga e o tempo de uso, ambos realizados por meio de visita ao local e em conversa com o cliente. Ao término do levantamento, foram constatadas as cargas listadas na Tabela 1.

Tabela 1: Previsão de Carga (Autoria Própria).

Carga	Potência (W)	Tempo de Uso (h/dia)
Compressor de 120l / 2 c.v.	1500	3
Refletores 4 x 100W	400	12

É importante ressaltar que o tempo de uso do compressor, mostrado na Tabela 1, é apenas uma estimativa, visto que a utilização da máquina não é feita de forma contínua e sim em aplicações rápidas. Da mesma maneira, os refletores são acionados por relés fotoelétricos, que tem o funcionamento baseado na luminosidade, portanto foi estipulado o acionamento entre 18:00 h até, no máximo, às 06:00 h do dia seguinte.

Com posse dos valores da Tabela 1, o consumo pode ser definido pela Equação 1:

$$\text{Consumo [kWh/mês]} = \frac{\sum \text{Potências} \cdot \text{Tempo de Uso} \cdot 30 \text{ dias}}{1000} \quad (1)$$

A partir da Equação 1, o consumo previsto foi de 279 kWh/mês. Esse consumo será utilizado para validar os resultados obtidos após a implementação do projeto.

2.5.2 PROCESSOS ETL E EDA

Dentro do processo de ETL estão as etapas de extração, transformação e carregamento dos dados que determinam a consolidação da base de dados. Por outro lado, o processo de EDA trata os dados analiticamente, transformando-os em informação.

Nesse artigo, os dados serão obtidos a partir do download dos arquivos de texto (.txt), que são armazenados na memória interna do medidor SM-3W Lite. Esse medidor contabiliza as variáveis de Consumo (em kWh e em R\$), Geração (kWh) Potência Ativa (W), Tensão (V) e Corrente (A) medidas ao longo do seu tempo de uso. É importante frisar que, para atender ao objetivo da pesquisa, a aplicação foi determinada em intervalos de 5 minutos.

Após a coleta dos dados, inicia-se o processo de transformação e carregamento que, utilizando a biblioteca Pandas®, é possível organizar e montar uma base de dados para seguir com as análises.

Os arquivos .txt obtidos por meio do medidor SM-3W Lite mostram o consumo acumulativo de cada dia, portanto a última leitura registrada seria o consumo final do respectivo dia. Portanto, de posse da série temporal de dados acumulados, o consumo de energia diário pode ser calculado. Para isso, é necessário empregar uma técnica de diferenciação entre os valores sequenciais. Isso se deve ao fato de que, em séries acumuladas, cada observação representa a soma de todos os consumos registrados até o ponto atual, o que dificulta a análise de consumo isolado para cada dia.

A lógica matemática para transformar esses dados em valores diários consiste em calcular a diferença entre o consumo acumulado de um determinado dia (C_n) e o consumo acumulado do dia anterior (C_{n-1}), como mostra a Equação 2:

$$\Delta C_n = C_n - C_{n-1} \quad (2)$$

Após a coleta, transformação e visualização dos dados é possível então analisar e obter as validações em relação ao consumo da parte da unidade consumidora na qual o medidor foi instalado, ou seja, do Anexo. Com a visualização e análise desses dados, torna-se mais tangível presumir o consumo real do Anexo e validar o funcionamento do sistema de medição proposto.

3. RESULTADOS

No âmbito da análise de monitoramento de consumo de energia, foi realizada a instalação do equipamento de medição no local designado, ou seja, no Anexo da unidade consumidora em estudo. Em seguida, foi realizada a conexão com o servidor Cloud. A implementação dessas etapas ocorreu no dia 31 de janeiro de 2024, estabelecendo a base para a coleta sistemática de dados.

Para garantir que o sistema de medição compilasse o consumo diário de um dia completo do Anexo, as medições tiveram seu início no dia 01/02/2024. A partir dessa data, o sistema iniciou a captura dos dados de consumo de energia de forma contínua, estendendo-se até o dia 22/02/2024.

Como explicado na subseção 2.5.2, os arquivos compilados dispõem do consumo acumulativo de cada dia. Assim sendo, a base de dados foi organizada na Tabela 2. Ela mostra o consumo máximo (kWh) por dia, em que a última leitura registrada seria o consumo final do respectivo dia.

Tabela 2: Consumo Máximo Acumulado por Dia (Autoria Própria).

Consumo Máximo (kWh)	Dia	Consumo Máximo (kWh)	Dia
16,36	01/02/2024	82,01	12/02/2024
27,08	02/02/2024	86,61	13/02/2024
27,77	03/02/2024	96,28	14/02/2024
27,77	04/02/2024	98,92	15/02/2024
37,16	05/02/2024	100,25	16/02/2024
45,44	06/02/2024	100,73	17/02/2024
52,07	07/02/2024	105,60	19/02/2024
61,29	08/02/2024	109,77	20/02/2024
68,06	09/02/2024	115,67	21/02/2024
72,21	10/02/2024	123,22	22/02/2024
76,47	11/02/2024	-	-

Como primeiro tratamento de dados, é possível notar que o dia 18/02/2024 não é mostrado entre os dados carregados. Provavelmente um erro de armazenamento do dispositivo ocorreu nessa data.

Como solução, o consumo referente ao dia 18/02/2024 foi verificado no *dashboard* do TagoIo e inserido manualmente. Esse fato destaca a importância das ferramentas de monitoramento e visualização de dados, mesmo servindo como um sistema de redundância na coleta dos dados.

Ao final do tratamento das ocorrências, a base de dados foi reorganizada como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Consumo máximo acumulado por dia ajustado (Autoria Própria).

Consumo Máximo (kWh)	Dia	Consumo Máximo (kWh)	Dia
16,36	01/02/2024	82,01	12/02/2024
27,08	02/02/2024	86,61	13/02/2024
27,77	03/02/2024	96,28	14/02/2024
27,77	04/02/2024	98,92	15/02/2024
37,16	05/02/2024	100,25	16/02/2024
45,44	06/02/2024	100,73	17/02/2024
52,07	07/02/2024	100,73	18/02/2024
61,29	08/02/2024	105,60	19/02/2024
68,06	09/02/2024	109,77	20/02/2024
72,21	10/02/2024	115,67	21/02/2024
76,47	11/02/2024	123,22	22/02/2024

A partir da Tabela 3, um gráfico de consumo diário pode ser plotado. Com isso, é possível visualizar o perfil de consumo do anexo em estudo.

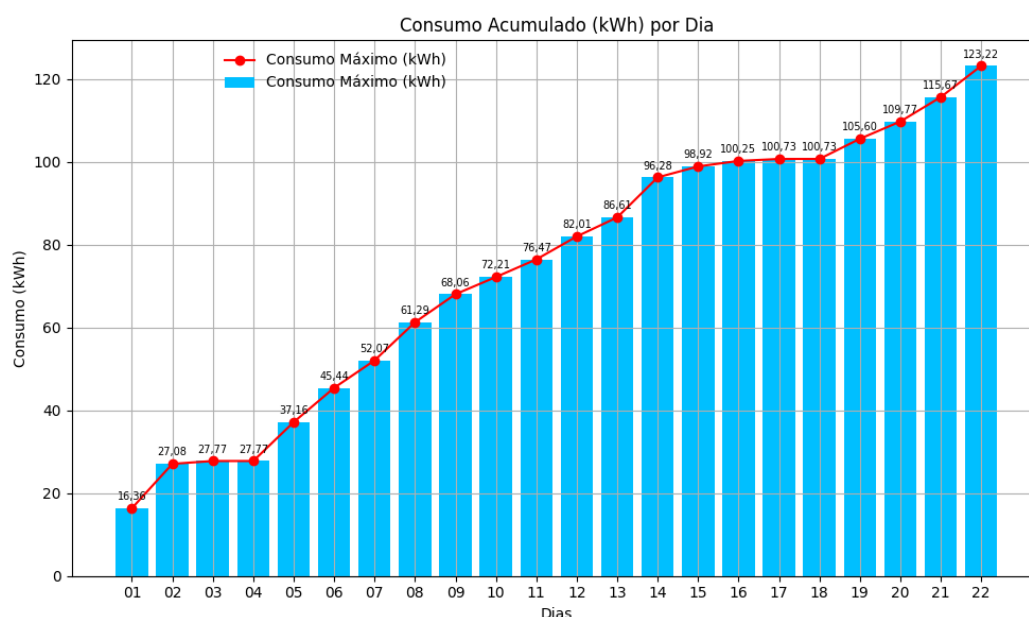


Figura 11: Consumo Acumulado por Dia (Autoria Própria).

Durante o período de monitoramento, uma análise dos dados revelou *insights* significativos sobre o padrão de consumo do anexo. O primeiro comportamento analisado foi o consumo linearmente crescente registrado pelo medidor (demonstrado na Figura 11), do mesmo modo que é aferido pelo medidor instalado pela concessionária de energia elétrica.

É possível verificar que entre os dias 03/02/2024 e 04/02/2024 não foi percebido qualquer variação de consumo, tais dias compreendem no período do fim de semana, ou seja, sábado e domingo, estando a unidade com suas cargas completamente desativadas (intervenção solicitada para verificar o comportamento das cargas de uso comercial da unidade e estabelecer a integridade da aferição do equipamento de medição sem carga). O aumento de consumo de energia elétrica retorna a contabilizar a partir dia 05/02/2024, ou seja, na segunda-feira, que é o próximo dia útil de funcionamento das instalações.

Posteriormente, implementando a Equação 2 dentro do conjunto de dados, é possível extrair o consumo diário real, como mostrado na Tabela 4 e visualizado através da Figura 12.

Tabela 4: Consumo Diário (Autoria Própria).

Consumo Diário (kWh)	Dia	Consumo Diário (kWh)	Dia
13,11	01/02/2024	5,54	12/02/2024
10,72	02/02/2024	4,60	13/02/2024
0,69	03/02/2024	9,67	14/02/2024
0,00	04/02/2024	2,64	15/02/2024
9,39	05/02/2024	1,33	16/02/2024
8,28	06/02/2024	0,48	17/02/2024
6,63	07/02/2024	0,00	18/02/2024
9,22	08/02/2024	4,87	19/02/2024
6,77	09/02/2024	4,17	20/02/2024
4,15	10/02/2024	5,90	21/02/2024
4,26	11/02/2024	7,55	22/02/2024

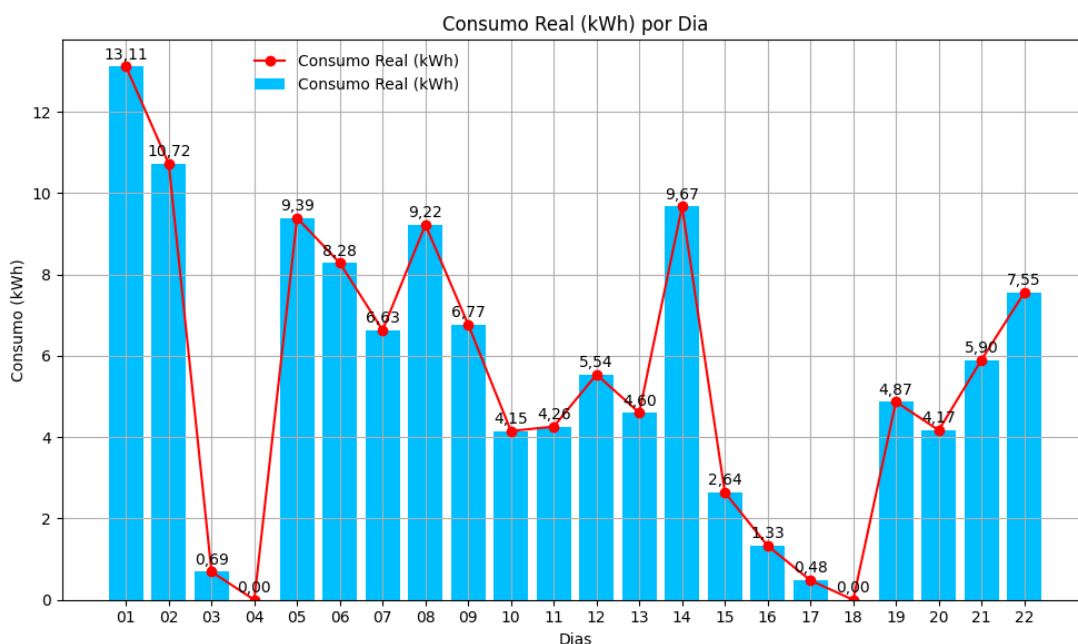


Figura 12: Consumo Diário (Autoria Própria).

A Figura 12 mostrou o comportamento diário do consumo do cliente. Para esse gráfico é considerado que o consumo pleno de um dia se dá pela diferença entre o consumo de dias consecutivos, uma vez que a medição é acumulativa.

Também a partir da Figura 12 foi possível verificar informações a respeito do padrão de consumo da instalação. Verificou-se que, para todo o período de medição, um consumo médio diário de 5,09 kWh/dia foi calculado através da média aritmética do consumo ao longo do período total.

Entretanto, se analisar o consumo médio do cliente considerando os finais de semana com valores nulos de consumo, é possível calcular um consumo médio de 8,06 kWh/dia entre os dias 05/02/2024 e 09/02/2024, por exemplo. A diferença é considerável em comparação com a média de todo o período, visto que os valores nulos de consumo aos fins de semana reduzem o valor final da média, portanto uma análise que considerando apenas os dias úteis torna-se mais assertiva estatisticamente.

Ademais, foi solicitado ao proprietário que, durante o período de carnaval (período em que as atividades seriam suspensas) os refletores permanecessem ligados ininterruptamente. Com essa ação foi possível realizar a validação de consumo especificadamente dessas cargas. Como resultado, entre os dias 10/02/2024 e 11/02/2023 foi verificado um consumo médio de 4,21 kWh/dia para os refletores do Anexo em estudo. Esse resultado é próximo ao consumo estimado que foi calculado no item 2.5.1, ou seja, cerca de 87,71% de similaridade com o consumo estimado dos refletores.

Sendo assim, usando a Equação 3 e considerando 12 horas de uso dos refletores (18:00h às 06:00h) como citado no item 2.5.1, estima-se, portanto, um impacto em cerca de 52,23% do consumo total da unidade em virtude dos refletores.

$$\text{Impacto dos Refletores sobre o Consumo Total} = \frac{\text{Consumo Real dos Refletores}}{\text{Consumo Total em Dias Úteis}} * 100 \% \quad (3)$$

Portanto, usando a Equação 4, considerando o consumo médio diário de 8,02 kWh/dia e extrapolando esse consumo em um mês com 30,44² dias, tem-se um consumo médio mensal de aproximadamente 244 kWh/mês, cerca de 87,45% do consumo médio total estimado no item. 2.5.1.

$$\text{Assertividade do Consumo} = \frac{\text{Consumo Total Medido}}{\text{Consumo Total Estimado}} * 100 \% \quad (4)$$

A partir dos resultados obtidos do consumo medido em relação ao consumo estimado, é percebido que a metodologia e os resultados são válidos e estão condizentes com os parâmetros base do estudo. Portanto, o medidor SM 3W Lite se mostrou uma alternativa eficiente no que diz respeito a medição do consumo de energia elétrica. Além disso, a partir dos dados e dos resultados obtidos, o locatário pôde então respaldar-se quanto às cobranças feitas pelo locador, tendo seu consumo médio estimado e, portanto, uma base para a precificação do seu custo de faturamento de energia.

4. CONCLUSÃO

A presente pesquisa propôs-se a estudar um método de acompanhar o consumo de energia elétrica de parte de uma unidade consumidora, denominada Anexo, utilizando ferramentas IoT. Os resultados obtidos ofereceram uma compreensão do consumo de energia do Anexo da unidade consumidora em estudo, além disso elucidou a aplicação e concretizou a viabilidade de utilizar tecnologias IoT para análises e resolução de casos reais do mercado.

De posse dos dados compilados, foi realizada uma análise que permitiu ser traçado o perfil de consumo do Anexo da unidade consumidora. Ademais, uma base sólida para a identificação de oportunidades de otimização e eficiência energética foi construída.

Dos dados obtidos foi possível verificar a intermitência de consumo ao longo do período comercial do Anexo, mesmo sem ter um padrão de consumo quantitativo fixo. Provavelmente, isso se deve ao tipo de serviço realizado pelo locatário do Anexo em determinados dias.

A partir dos resultados obtidos e do consumo estimado, pode-se afirmar que o sistema de medição implementado possui um nível satisfatório de similaridade entre os valores estimados e medidos. Isto ocorre, pois tanto para o consumo médio mensal, como para o estudo de cargas específicas, como a dos refletores, a razão entre o valor estimado e o medido esteve cima dos 85%. Desta forma, pode-se afirmar que o sistema implementado é válido de ser utilizado pelos clientes da empresa do ramo de engenharia elétrica incumbida de solucionar o problema entre locador e locatário da cidade de Mossoró/RN.

Com relação a análise da carga dos refletores, percebeu-se que o seu consumo é responsável por uma considerável parcela do gasto de energia elétrica que o Anexo da Unidade em estudo possui. Como solução de redução de consumo em eletricidade, sugere-se alternativas mais eficientes ao locatário, como substituição das lâmpadas com tecnologias que tenham menor potência e maior eficiência luminosa, como a tecnologia das lâmpadas LED.

Vale salientar também que o período de análise compreendeu um intervalo de 20 dias corrido, mesmo em conformidade com [14], ou seja, respeitando os 7 dias corridos, se torna mais efetivo a medição do decorrer de

² 365 dias do ano em razão à 12 meses.

30 dias. Portanto, é recomendado uma ampliação no período de análise para concatenar melhor os perfis de consumo das instalações a serem analisadas por um medidor próprio de consumo.

Os arquivos de texto obtidos para a análise dos dados foram adquiridos de forma manual, ou seja, o técnico responsável se dirigiu até o local para realizar o *download* dos arquivos ao final do ciclo de medição retornando com eles para análise. Portanto, no primeiro momento, a plataforma TagoIO funcionou como ferramenta de monitoramento e visualização dos dados.

Portanto, pode-se concluir que, a implicação das tecnologias IoT disponíveis no mercado, tanto pagas como gratuitas, são fundamentais para o desenvolvimento de soluções para problemas de negócios que acontecem no mercado da engenharia elétrica. A adoção desse tipo de tecnologia está cada vez mais forte e se tornando uma realidade viável, em detrimento das tecnologias serem mais consolidadas e consequentemente mais onerosas.

Destaca-se também a análise de dados utilizando ferramentas computacionais mais robustas, como a linguagem Python e suas bibliotecas, tornando o processo de extração, coleta, tratamento, visualização e análise dos dados mais rápido e assertivo independente do volume de dados.

Ao final da análise foi possível avaliar de forma satisfatória o nível de consumo desenvolvido na instalação em estudo, consequentemente, fornecendo base e respaldo para que o imbróglio entre as partes pudesse ser solucionado de forma justa.

Para futuras análises e trabalhos desenvolvidos, é importante a implementação de algoritmos de requisição de dados utilizando tanto o protocolo HTTP como MQTT, a fim de se obter os dados de forma remota não apenas para o monitoramento, mas também para sua manipulação e análise. Atualmente, a TagoIO disponibiliza essas funcionalidades, por isso recomenda-se utilizar tais funcionalidades nos futuros trabalhos.

Além dessa implementação, é sugerido o desenvolvimento de plataforma própria para o monitoramento e visualização dos parâmetros elétricos das instalações, utilizando bibliotecas como *tkinter*, que possibilitam a criação de interfaces *desktops*, ou *Streamlit*, que por sua vez, possibilita a criação de *dashboards web* personalizados sem necessidade de serviço de hospedagem. O ganho para esse tipo de aplicação torna o processo muito mais ágil e dinâmico, pois gera indicadores e gráficos das variáveis em tempo real, contribuindo com a geração de análises e tomada de decisão no que diz respeito ao processo de eficiência energética de instalações de pequeno, médio e grande porte.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar e conceder força e sabedoria ao longo desta caminhada.

À minha mãe, que sempre me proporcionou todas as condições, possíveis e impossíveis, para que eu chegasse até aqui. Seu apoio incondicional foi essencial para cada conquista.

À minha noiva, que esteve ao meu lado em todos os momentos desta jornada. Seu amor, paciência e apoio inabaláveis me deram forças para seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores.

A toda a minha família, que, com carinho e suporte, esteve ao meu lado em cada etapa desta jornada de estudos.

Ao coorientador Me. João Frederico Souza De Paula, que, mesmo à distância, dedicou seu tempo para contribuir com sua valiosa orientação e organização deste trabalho.

À orientadora Dra. Maria Izabel da Silva Guerra, por sua orientação brilhante e por acreditar no potencial deste projeto, oferecendo suporte fundamental para o seu desenvolvimento.

À empresa Solarelli, que me abriu suas portas e permitiu uma experiência enriquecedora no mercado de engenharia elétrica, fornecendo ferramentas e oportunidades que possibilitaram a exploração de novas soluções, além de crescimento pessoal e profissional, sendo fundamental para a realização deste artigo.

Aos meus colegas de graduação, pelo companheirismo e troca de conhecimentos que tornaram essa jornada mais leve e enriquecedora.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por seu compromisso em formar cidadãos e transformar vidas.

REFERÊNCIAS

- [1] Ministério de Minas e Energia. BEN Relatório Síntese 2024 - Ano Base 2023. Disponível online: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/ben-2024/relatorio-sintese/ben_sintese_2024_pt.pdf.
- [2] Gokhale, P.; Bhat, O.; Bhat, S. Introduction to IoT. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 2018, 5, 41. DOI: 10.17148/IARJSET.2018.51741.
- [3] Zafar, S.; Miraj, G.; Baloch, R.; Murtaza, D.; Arshad, K. An IoT Based Real-Time Environmental Monitoring System Using Arduino and Cloud Service. Engineering, Technology & Applied Science Research, 2018, Vol. 8, No. 4, 3238-3242.
- [4] Romancini, E.M.R.; Zanon, V.R.; Morales, A.S.; Ourique, F.O.; Moraes, R. Monitoramento Inteligente do Consumo de Energia Elétrica em Residências Utilizando Recursos de IoT. XIII Computer on the Beach, Araranguá, SC, Brasil, 2024.
- [5] UK Government. SMART METERING IMPLEMENTATION PROGRAMME: A report on progress of the realisation of smart meter consumer benefits. Setembro 2019. Disponível online: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/830668/smart-meters-benefits-realisation.pdf.
- [6] Santos, D.; Ferreira, J.C. IoT Power Monitoring System for Smart Environments. MDPI - Sustainability 2019, 11, 5355; doi:10.3390/su11195355.
- [7] Santilio, F.P. Análise Do Consumo De Energia Elétrica Dos Equipamentos Iot Utilizados Na Automação Residencial: Um Estudo De Caso Para Redução Do Consumo De Energia Elétrica. RECIMA21, 2023, Vol. 4, e4104172.

- [8] Portaria INMETRO nº 587, de 05 de novembro de 2012 - Regulamento técnico metrológico - RTM para medidores eletrônicos de energia elétrica ativa e/ou reativa, monofásicos e polifásicos, inclusive os recondicionados.
- [9] IE Tecnologia. Medidor de Energia Trifásico Bidirecional SM-3W LITE.
- [10] Silva, E.C.X. Armazenamento e análise de dados em nuvem utilizando ESP8266. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2023.
- [11] Grus, J. Data Science from Scratch: First Principles with Python. 2ª ed.; O'Reilly Media: Sebastopol, 2019.
- [12] Provost, F.; Fawcett, T. Data Science for Business: What You Need to Know about Data Mining and Data-Analytic Thinking. O'Reilly Media: Sebastopol, 2013.
- [13] Nussbaumer Knaflitz, C. Storytelling with Data: A Data Visualization Guide for Business Professionals. Wiley: Hoboken, 2015.
- [14] BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Portaria nº 505, de 26 de novembro de 2001.
- [15] Creder, Helio. Instalações elétricas. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [16] Tukey, J. W. Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley, 1977.